Aus dem Städtischen Hygienischen Universitäts-Institut zu Frankfurt am Main.
(Direktor: Professor Dr. Dr. E. Küster)

Raumdesinfektionswirkung des Ozons

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung
der zahnärztlichen Doktorwürde

der Hohen Medizinischen Fakultät
der
Johann Wolfgang Goethe-Universität
zu Frankfurt am Main

vorgelegt von

Luise-Charlotte Rutkowsky geb. Wendt

appr. Zahnärztin
aus Darmstadt

Juli 1940

Dissertations-Druckerei F. W. Kalbfleisch, Gelnhausen

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät
der Universität Frankfurt am Main

Referent: Professor Dr. Küster
Korreferent: Professor Dr. Külz

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41551902_0089

Ausgehend von der Anwendung des Ozons zur Trinkwasser-Reinigung tauchte der Gedanke auf, die oxydierende Wirkung des Ozons auch der Luftreinigung zugänglich zu machen.

Bereits im Jahre 1891 stellte Ohlmüller fest, daß im Wasser lebende Bakterien leicht und sicher abgetötet werden. Seither wurden entsprechende Verfahren zur Trinkwasser-Reinigung besonders von der Firma Siemens & Halske weitgehendst ausgebaut, die darauf beruhen, den Sauerstoff der Luft durch elektrische Entladungen in das dreiatomige Gas-Ozon umzuwandeln und dieses Ozon dem Wasser in geeigneter Menge zuzuführen.

Ozon erinnert in seinem Geruch stark an Chlor, ist zwar nur zu 1/100 seines Volumens in Wasser löslich, wirkt aber noch in dieser Konzentration sogar bei niederen Temperaturen im Wasser stark oxydierend. Auf dieser Oxydationswirkung beruht die Vernichtung organischer Substanz im Wasser und die abtötende Wirkung auf Wasser-Bakterien. Ist viel organische Substanz im Wasser vorhanden, so wird vornehmlich durch deren Oxydation eingeführtes Ozon verbraucht und dementsprechend die keimtötende Wirkung vermindert.

Die im Ganzen günstigen Ergebnisse bei der Wasserreinigung führten zu der Annahme, mittels Ozon auch die Keime der Luft und die Riechstoffe beseitigen zu können. Die Menge Ozon, die natürlicherweise in der Luft vorkommt — in 100 cbm etwa 1,6 mg —, ist hygienisch kaum von Bedeutung. In hohen wirksamen Konzentrationen ist Ozon zur Luftreinigung nicht in Gegenwart von Menschen oder Tieren verwendbar, da es reizend auf die Schleimhäute der Nase, der Augen und des Kehlkopfes wirkt. In seiner Giftigkeit steht es dem Chlor und Brom nahe. Nach Kisskalt soll die ertragbare Dosis des Ozons in der Luft bei 0,0001 g/cbm liegen, während Dosen von 0,00038 g/cbm schon zu hoch sind. Ullmann hält Konzentrationen von 1—2 mg pro cbm für gut verträglich, nach Selter sollen Konzentrationen von 0,05 bis 0,1 mg pro cbm nicht überschritten werden.

Hill und Flack machten Versuche an Tieren über die physiologische Wirkung des Ozons. Bei Ratten, Katzen und Mäusen verursachte ein zweistündiger Aufenthalt in Luft mit 0,0015 bis 0,002% Ozon bereits tötliche Pneumonie. Bei ihnen wird der respiratorische Stoffwechsel durch Ozon bei Konzentration von 1 : 1.000.000 bereits stark beeinflußt, beim Menschen dagegen nicht. Die günstigen Resultate der ozonizierten Luft sollen nach ihrer Ansicht auf einer Wirkung des Ozons auf das Nervensystem und seiner Eigenschaft, üble Gerüche zu verdecken, beruhen.

Nach den Versuchen von Konrich über die Giftigkeit des Ozons können bei einem Ozongehalt von 10 mg pro cbm Tiere nicht nur geschädigt, sondern auch getötet werden. Nach ihm sollen zur Luftdesinfektion nicht höhere Konzentrationen als 0,5 mg pro cbm angewandt werden. Nach den Ergebnissen von Schwarz soll die Reizwirkung des Ozons auf die Schleimhäute auf die Anwesenheit von Stickoxyd und salpetriger Säure beruhen, die von schlechten Ozonbildern und in schlecht gelüfteten Räumen aus Ammoniak entstehen.

W. Cramer spricht dem Ozon große Bedeutung als keimtötendes und Riechstoffe beseitigendes Mittel zu, warnt aber ebenfalls vor der Reizwirkung auf die Geruchsnerven. Um dieser Reizwirkung vorzubeugen, soll das Ozon zur Luftreinigung nur in geringer Konzentration zusammen mit Frischluft eingeführt werden. Zu diesem Zwecke wird der Ozonisator in Frischluftkammern eingebaut, sodaß das Ozon nicht mit der Frischluft, die durch das Gitter streicht, mischt. Im Ozon-Ventilator wird das entstehende Ozon ebenfalls mit der Frischluft vermischt.

Die desinfizierende Wirkung des Ozons ist — abgesehen von der Ozonkonzentration — abhängig von der Einwirkungsdauer und dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft. So stellte schon Ohlmüller in seinen Versuchen fest, daß das Ozon die Bakterien in Wasser leicht abtötet, während es auf trockne Bakterien nicht einwirkt.

Ausgedehnte Untersuchungen in dieser Hinsicht wurden unternommen zum Zwecke der Konservierung von Lebensmitteln in Kühl- und Schlachthäusern. Heise stellte hierbei fest, daß die Ozon-Anwendung in Kühlhallen nur eine teilweise Vernichtung der dem Fleisch anhaftenden Bakterien bedingt, die aber im allgemeinen ausreichend ist, um die Haltbarkeit des Fleisches wesentlich zu verlängern. Die große Bedeutung des Ozons ist darin zu sehen, daß es bei niederen Temperaturen von 1—3° das Hineinwachsen von Bakterien in das Fleisch verhindert.

Kaehs nennt die Ozonisierung in Kühlhäusern nur ein „Zusatzverfahren", da es ohne Anwendung der Kaltlagerung keinen Einfluß auf die Haltbarkeit der Lebensmittel hat.

Ostertag lehnt eine verlängerte Haltbarkeit des Fleisches durch Ozonisierung ganz ab, während Thiele von einer verdoppelten Haltbarkeit spricht. Allerdings soll eine einwandfreie bakterizide Wirkung nur bei 10 mg pro cbm Ozon-Konzentration vorhanden sein,, dies aber nur, solange die Bakterien sich noch in der Entwicklung befinden. Es geht also die Meinung der Autoren über die Haltbarkeit des Fleisches durch Ozonbehandlung weitgehend auseinander.

Über die Wirkung des Ozons auf Riechstoffe bestehen ebenfalls geteilte Ansichten. Auf der einen Seite wird die Meinung vertreten, daß Ozon ein starkes Desodorans ist, auf der anderen Seite wird das Ozon nur als ein Mittel angesprochen, um üble Gerüche zu überdecken. Versuche in dieser Richtung wurden meist gleichzeitig mit denen der Luftreinigung vorgenommen, da ja bei der Luftreinigung in Räumen die Beseitigung übler Gerüche eine wesentliche Rolle spielt. Heise hält das Ozon für sehr geeignet, um aus Räumen (Theater, Lokale) Gerüche rasch zu entfernen. Erlandsen, Schwarz und Kisskalt fanden in ihren Versuchen keine Zerstörung der Riechstoffe, sondern nur eine Überdeckung. Auch Konrich spricht dem Ozon im günstigsten Falle eine Überdeckung der üblen Gerüche zu; nach seiner Ansicht ist aber die Zumischung des Ozons zu dem üblen Geruch kein Gewinn sondern sogar eine Verschlechterung, sodaß also die Ozonisierung nur da als Notbehelf dienen sollte, wo eine Lüftung durch Frischluft allein nicht ausreichend ist.

Franklin dagegen beurteilt eine Lüftung mit Ozonisierung als sehr günstig, da das Ozon üble Gerüche zerstört und Kohlenoxyd zu Kohlensäure oxydiert.

Czaplewski fasst seine Meinung in seiner Übersicht „Die Verwendung des Ozons in der Lüftung" dahingehend zusammen, daß das Ozon eine gewiße Wirksamkeit auf bestimmte Riechstoffe und die von diesen entwickelten Gerüche besitzt, dass viele von ihnen unzweifelhaft zerstört werden, andere dagegen nur vermindert.

Die medizinische Verwendbarkeit des Ozons wird von Wolff sehr hervorgehoben und zwar als Desodorans bei Untersuchungen mit üblem Geruch (Rektal-Untersuchungen, Cervix- und Rectum-Carcinom).

Die Versuche über die abtötende bezw. vermindernde Wirkung des Ozons auf die Luftkeime brachte im allgemeinen keine günstigen Ergebnisse. Nach der Ansicht Czaplewski's ist auf eine Bakterienvernichtung durch Ozon in der Luft und an den Wänden und Gegenständen eines Raumes nicht zu rechnen. Zu dem gleichen Ergebnis kommen Heiling und Scupin.

Franklin stellte fest, daß das Wachstum der Luftbakterien bei atembaren Ozon-Konzentrationen nur leicht gehindert wird. Günstiger beurteilt wird die Wirkung des Ozons auf Luftkeime von Olsen, der eine erhebliche Keimverwinderung feststellte. Auch Thiele fand bei seinen Ozonisierungsversuchen in Kühlhäusern eine Verminderung des Keimgehaltes der Luft um 70—84%. Moog machte Versuche in einer Setzwerkstatt und erhielt eine Reduktion der Keime um 60-80% bei Ozon-Konzentrationen von 1:100.000 pro cbm. Schönfeld u. Hoffmann haben in einem mit Ozon gefüllten Gärkeller eine Verminderung der Keime um 40% festgestellt. Ladenburg spricht dem Ozon selbst in geringsten Konzentrationen eine sehr weitgehende keimtötende Wirkung zu; nach seiner Ansicht sind alle Orte, an denen reichlicher Ozon-Gehalt in der Luft angetroffen wird als gegen Epidemien geschützt anzusehen.

Konrich hält die Ansicht Ladenburg's für widerlegt. Er verweist auf Sonntag's, Ohlmüller's und seine eigenen Untersuchungen. Aus diesen geht, wie er meint, hervor, daß die Luftkeime bei 24-stündiger Ozonisierung bei einer Konzentration von 4,1 gr pro cbm noch nicht einmal sicher abgetötet werden; das wäre also eine Konzentration, die in der Lüftung belebter Räume niemals angewandt werden darf.

Die Luftfeuchtigkeit der Räume, in denen die vorangegangenen Versuche gemacht wurden, ist nicht angegeben.

Alle bislang angestellten Versuche über die Wirkung des Ozons auf Bakterien führten sowohl in der praktischen Anwendung als auch im Laboratoriumsversuch zu folgendem grundlegendem Ergebnis: Ozon wirkt auf im Wasser verteilte Bakterien als starkes Desinfektionsmittel, dagegen ist seine Wirkung auf trockne Bakterien in der Luft eine sehr schwach bakterizide. Weiterhin ist zu beachten, daß Bakterien in Luft mit hoher relativer Feuchtigkeit leichter abgetötet bezw. im Wachstum gehemmt werden, als solche in trockener Luft.

Kaehs berichtet hierzu, daß es zunächst gelang, Bakterien in Luft mit hoher relativer Feuchtigkeit abzutöten, sowie Gegenstände die in Aufschwemmungen von Bakterien getaucht waren,

keimfrei zu machen, während Bakterien in trockner Luft oder in eingetrockneter Aufschwemmung unbeschädigt blieben. Die Bakterienzelle muß also einen gewissen Quellungszustand aufweisen, wenn die Ozon-Behandlung wirksam sein soll.

Die Untersuchungen von Heise haben ergeben, daß durch Anwesenheit von lebiosen organischen Substanzen im Wasser die Wirkung des Ozons auf die im Wasser befindlichen Bakterien wesentlich herabgesetzt wird und weiterhin, daß Ozon auf die in feuchter Luft oder auf Nährböden befindlichen Bakterien nur schädigend zu wirken vermag, solange die Bakterien noch einzeln an der Oberfläche liegen, also nicht von organischen Substanzen eingeschlossen sind.

Auch Konrich findet in seinen Untersuchungen die Tatsache bestätigt, daß Ozon auf trockne Bakterien selbst bei höheren als in der Lüftung erlaubten Konzentrationen nicht desinfizierend wirkt.

Umfassende in Einzelheiten beschriebene Arbeiten über die Wirkung des Ozons auf Mikroorganismen sind nur wenige erschienen. Zunächst wären hier die Untersuchungen von Heise zu nennen, die zum Zwecke der Möglichkeit der Lebensmittelkonservierung in Kühlhallen durchgeführt wurden. Heise's Versuchsbedingungen waren kurz folgende : In Petrischalen ausgegossene Nährböden wurden mittels eines bestimmten speziell ausgearbeiteten Spray-Verfahrens gleichmäßig mit einer Bakterien-Aufschwemmung besprüht und 1—2 Stunden nach der Beimpfung so an die Ozon-Apparatur angeschlossen, daß der Ozon-Luftstrom direkt auf die Platten strömte.

Seine Versuche führten zu folgendem Ergebnis : Coli-Keime wurden bei einer Ozon-Konzentration von 1,9—2,2 mg pro Liter und einer Einwirkungsdauer von 1 Minute zu 98% abgetötet, bei niederer Konzentration von 8 mg pro cbm und 1 Stunde Einwirkungsdauer zu 95%. 20 Stunden nach der Beimpfung ozonisierte Platten, die in Zimmertemperatur verwahrt waren, bei denen die Keime also schon zu Kolonien ausgewachsen waren, waren gegen die Ozonisierung bei einer Konzentration von 2 mg pro Liter und 6 Minuten Einwirkungsdauer widerstandsfähig. Wurden die Platten dagegen nach der Beimpfung im Eisschrank bei 4,5—5° verwahrt, so waren sie 96 Stunden nach der Beimpfung noch genau so empfindlich gegen die Ozonisierung, wie sofort nach der Beimpfung ozonisierte Platten.

Das Ergebnis seiner Untersuchungen ist — kurz gesagt — demnach folgendes : Die Wirkung des Ozons auf einzeln an der Oberfläche liegende Keime, die noch nicht zu Kolonien ausgewachsen sind, sei es durch sofortige Ozonisierung nach der Beimpfung, sei es durc hdie Verhinderung des Kolonienwachstums durch Kältebeeinflußung, ist eine stark bakterizide, während die Ozonwirkung auf zu Kolonien ausgewachsene Keime keine bemerkenswerte ist.

Zu beachten ist, daß in der Arbeit H e i s e's nicht die Feuchtigkeit der Luft des Raumes, in dem die beimpften Platten standen, angegeben ist, und vor allem, daß durch das Besprayen der Platten mit der Bakterienaufschwemmung die Keime in kleinsten Tröpfchen auf der Platte verteilt waren, die Keime somit also in einem gewissen Feuchtigkeitsgehalt dem Ozon ausgesetzt wurden. Hierauf sind wohl die günstigen Ergebnisse der Ozonbehandlung zurückzuführen. Da das zu konservierende Fleisch in den Kühlhallen ja auch eine gewisse Feuchtigkeit behält, mußten also auch die Ergebnisse der Ozonbehandlung zusammen mit niederen Temperaturen in der praktischen Anwendung recht günstige sein.

Auch an anderen Bakterien durchgeführte Untersuchungen (verflüssigendes Aromabakterium, rosettenbildendes Aromabakterium, hofbildendes Aromabakterium, Bakterium prodigiosum, Bakterium fluoresc. liquef.) führten im allgemeinen zu den gleichen Ergebnissen wie an Bakterium coli commune.

Eine ebenfalls ausgedehnte Arbeit über die Wirkung des Ozons auf pathogene Keime liegt von K l e i n m a n n vor in seiner Schrift : „Körperhöhlenbehandlung mit pharmakologisch wirksamen Gasen". Seine Versuche greifen im wesentlichen auf die von H e i s e zurück. Die Versuchsbedingungen sind etwas vereinfacht, die Ozon-Konzentrationen höher gewählt, um die Möglichkeit offen zu lassen, daß die bei den Versuchen H e i s e's ausgebliebene Wirkung des Ozons auf Bakterien-Kolonien bei höheren Ozon-Konzentrationen vielleicht sich doch einstellen würde.

Die Versuchsbedingungen sind kurz folgende : Auf Nährböden wurden Bakterien-Aufschwemmungen gleichmäßig verteilt und im Exsiccator 1—2 Stunden getrocknet. Zur Ozonisierung kamen die Nährboden-Platten in einen Glocken-Exsiccator, in den man das Ozon auf die Platten strömen ließ. Die Ozon-Konzentration betrug bei allen Versuchen 174,3 mg pro Liter.

Bei Platten, die 2—4 Stunden nach der Beimpfung ozonisiert wurden, waren Bakterium coli bei einer Einwirkungsdauer

von 2 Minuten zu 98% abgetötet, Bact. dys. Flexner nach 2 Minuten zu 100%, Diphtherie-Bazillen nach 8 Minuten zu 100%, Staphylococcus pyogenes aureus und haemolytische Streptokokken ebenfalls nach 2 Minuten Ozonisierung zu 100%.

Vor dem Beimpfen ozonisierte Nährbodenplatten zeigten keine Behinderung des Bakterienwachstums, während Heise in seinen Versuchen eine geringe Hemmung des Bakterienwachstums hierbei feststellen konnte. 24 Stunden nach der Beimpfung ozonisierte Nährbodenplatten, bei denen die Keime also schon zu Kolonien ausgewachsen waren, ergaben eine leichte Schädigung der oberflächlichen Schicht der Kolonien.

Auch in der Arbeit Kleinmann's ist der Feuchtigkeitsgehalt der Luft nicht angegeben.

Die Ergebnisse der von Kleinmann angestellten Versuche brachten also im allgemeinen das gleiche Ergebnis wie die Versuche von Heise. Die Schädigung auch der zu Kolonien ausgewachsenen Keime durch die Ozonbehandlung ist wohl auf die höhere Ozonkonzentration zurückzuführen.

Unter geänderten Versuchsbedingungen machte Galli-Valerio Untersuchungen über die Wirkung des Ozons auf Bakterium coli, Bakterium pyogenes albus und Bakterium vulgatum. Zur Ozonerzeugung verwandte er einen elektrischen Zimmer-Ozonisator, den er in einem kleinen Zimmer von 12 cbm-Rauminhalt ohne Fenster mit nur einer kleinen Tür aufstellte. Die Zimmertemperatur betrug 15—16°, die relative Feuchtigkeit 60,75 %. Von den drei angegebenen Bakterienarten wurden Bouillon-Kulturen hergestellt und von diesen je eine Oese auf Deckgläschen übertragen, die er dann 24 Stunden lang bei 20° antrocknen ließ. Anschließend erfolgte eine 5—9-stündige Ozonbehandlung in dem Zimmer. Andere Versuche wurden statt mit getrockneten Bakterien mit Emulsionen (Suspensionen?) von Agarkulturen der angegebenen Bakterienarten gemacht, die in Petrischalen in steriles Wasser gegeben und wiederum 5—9 Stunden oznisiert wurden.

Unter beiden Versuchsbedingungen hat Galli-Valerio eine Hemmung des Wachstums durch die Ozonbehandlung feststellen können. Es fehlen in seiner Arbeit die Angaben über die Höhe der Ozon-Konzentration; hierdurch ist ein Vergleich mit den Untersuchungsergebnissen der anderen Autoren nicht zu ziehen.

Dem Ozon-Luftstrom ausgesetzte Petrischale mit erstarrtem Agar ergaben bei Galli-Valerio keine Abtötung der Luftkeime bei einer Behandlungsdauer von 5—6 Stunden.

Konrich arbeitete unter Voraussetzungen, die den Verhältnissen eines zu desinfizierenden Raumes weit mehr angeglichen waren. An Fließpapierstreifchen wurden Bakterienaufschwemmungen angetrocknet und diese an einem Holzgestell in einem Kasten aus Glas aufgehängt. In den Kasten wurde der Ozonluftstrom eingeleitet. Zur Untersuchung kamen: Typhus-Bazillen, Para-Typhus-B, Shiga-Kruse, Flexner, Bakterium coli, Staphylokokkus, Prodigiosus, Sarcina, Pyocyaneus und Milzbrand. Die Konzentrationen betrugen 0,006—0,03 gr Ozon pro cbm. Nach einer Einwirkungsdauer von 1—5 Stunden waren die Bakterien weder abgetötet noch im Wachstum gehemmt. Dagegen war das Ergebnis ein wesentlich günstigeres, wenn die Fließpapierstreifchen feucht dem Ozon-Luftstrom ausgesetzt und auch während der ganzen Ozonisierungszeit durch Dampfzufuhr feucht gehalten wurden. Bei einer Ozon-Konzentration von 0,0937 gr pro cbm kam Konrich zu folgendem Ergebnis: Typhus, Paratyphus-A und Shiga-Kruse waren nach einer Stunde abgetötet, Flexner nach 2 Stunden, Coli, Paratyphus-B, Pyocyaneus, Prodigiosus und Sarcina nach 3—4 Stunden, Milzbrand und Staphylokokken waren nicht geschädigt.

Vergleicht man das soeben Gesagte mit den Untersuchungsergebnissen der vorher genannten Autoren, so sind die ungünstigen Erfahrungen von Konrsisch und Galli-Valerio wohl darauf zurückzuführen, dass die Keime in gänzlich trockenem bezw. weitaus trocknerem Zustand dem Ozon-Luftstrom ausgesetzt waren, als dies bei auf Nährböden verteilten Bakterien der Fall sein kann.

Franklin trocknete zu seinen Untersuchungen Keime von Bakterium thyphosum, Bakterium coli u. Staphylococcus pyogenes aureus an Glasstäben an, die er bei einer Ozon-Konzentration von 1—10 mg pro cbm 2 Stunden dem Ozon aussetzte. Die Keime waren in trockenem Zustand im Wachstum gehemmt, im feuchten Zustand waren Bakterium coli und Typhus sogar abgetötet.

Faßt man die Ergebnisse all dieser Untersuchungen nochmals kurz zusammen, so muß festgestellt werden, daß Ozon nur unter folgenden Bedingungen auf pathogene Keime bakterizid zu wirken vermag:

1). Die Keime müßen einzeln an der Oberfläche liegen und dürfen noch nicht zu Kolonien ausgewachsen sein, da das Ozon keine Tiefenwirkung besitzt.

2). Die Keime müßen einen gewißen, durch Feuchtigkeit bedingten, Quellungszustand aufweisen.

3. Die angewandten Ozon-Konzentrationen müßen höher liegen, als die in der Atemluft verträglichen.

Bei meinen Versuchen über die Wirkung des Ozons als Raumdesinfektionsmittel kam es vor allem darauf an, die Versuchsbedingungen weitgehendst den Verhältnissen eines zu desinfizierenden Raumes anzugleichen. Es mußte also davon ausgegangen werden, daß die Bakterien eines zu desinfizierenden Raumes bei Zimmertemperatur und Zimmerfeuchtigkeit an den Wänden und Gegenständen verteilt sind, daß die Bakterien sich also in verhältnismäßig trockenem Zustand befinden. Fernerhin war zu beachten, daß ein Desinfizieren des Raumes mit Ozon nicht möglich ist, indem das Ozon direkt auf die Keime geleitet wird, sondern nur, indem man in dem betreffenden Raume ozonhaltige Luft erzeugt.

Zur Herstellung ozonhaltiger Luft wurde der elektrische Zimmer-Ozonisator OVH, den die Firma Siemens & Halske zur Verfügung stellte, verwandt. Um mit diesem Apparat möglichst hohe Konzentrationen zu erzielen, wurde als Untersuchungsraum ein abgedichteter Abzug von 2,35 cbm Rauminhalt gewählt. Vor Einbringung des Untersuchungsmaterials in den Abzug wurde dieser 1 Stunde lang ozonisiert und die Ozon-Konzentration auf folgende Art bestimmt :

Eine kleine Absorptions-Waschflasche wurde mit 0,5 ccm einer n/2000 Natriumthiosulfat-Lösung, 9 ccm einer 1%igen Kaliumjodidlösung und 1 ccm Stärkelösung beschickt. Die Flasche wurde in den Abzug gestellt und durch Glasröhren mit einem evakuirten Kolben von 2,414 Liter Volumen, der außerhalb des Abzuges stand, verbunden. Durch Öffnen des Kolbenhahnes ließ man langsam die ozonhaltige Luft im Abzug einströmen, solange, bis ein Umschlag der farblosen Lösung in der Absorptions-Waschflasche nach blau eintrat. Da in der Mehrzahl der Fälle mehr ozonhaltige Luft durchgesaugt werden mußte, als das Fassungsvermögen des Kolbens betrug, mußte dieser mehrere Male evakuiert werden. Um das Volumen des nach dem Farbumschlag noch verbleibenden Vacuums im Kolben festzustellen, ließ man in denselben Wasser einströmen; die Menge des einsrömenden Wassers wurde im Meßzylinder gemessen und von dem Volumen des Kol-

bens abgerechnet. Die Anzahl der Volumina des evakuierten Kolbens ergab die Menge der eingesaugten ozonhaltigen Luft.

Die Berechnung der Ozonmenge in mg pro cbm wurde folgendermaßen ausgeführt: 1 ccm einer n/10 Natriumthiosulphat-Lösung entspricht 2,4 mg. 0,5 ccm n/2000 Natriumthiosulfatlösung entsprechen also 0,024 : 4 mg = 0,006 mg. Es verhalten sich also:

$$\frac{1000 \text{ ccm}}{(\text{Menge der durchgesaugten Luft}) \text{ L}} = \frac{x}{0{,}006} \text{ oder}$$

$$x = \frac{1000 \,.\, 0{,}006}{\text{L}}$$

Zur Untersuchung kamen Keime von weißen haemolytischen Staphylokokken, gelben haemolytischen Staphylokokken, Streptokokken Bakterium coli, Bakterium prodigiosum und Bakterium pyocyaneum, die nach folgender Methode verarbeitet wurden:

Von der Agar- bezw. Blutplatte aus wurden 3 Ösen des zu untersuchenden Materials in 5 ccm sterilen Wassers aufgeschwemmt. Diese Aufschwemmung ließ man von sterilen gehärteten Filtrierpapierscheibchen aufsaugen, legte jedes Scheibchen in eine offene sterile Petrischale und ließ sie an der Luft vollständig trocknen. Anschließend wurden sie in dem bereits 1 Stunde lang ozonisierten Abzug dem Ozon-Luftstrom ausgesetzt, und zwar jede Bakterienart einmal bei Zimmerfeuchtigkeit und einmal bei erhöhter Feuchtigkeit durch Einleiten von Wasserdampf in den Abzug. In beiden Fällen blieben aber die Filtrierpapierscheibchen während des Versuchs trocken. Nach der Ozonisierung wurden die Scheibchen mit je 3 Tropfen physiologischer Kochsalzlösung angefeuchtet und 5 Minuten lang auf Agarplatten abgeklatscht. Diese kamen in den Brutschrank bei 37° und wurden nach 24 Stunden überprüft.

Die nachfolgenden Tabellen 1—10 zeigen das Ergebnis der nach oben geschilderter Methode durchgeführten Versuche.

Tabelle 1.

Einkwirkung des Ozons auf weiße haemolytische Staphylokokken bei Zimmerfeuchtigkeit.

Ozonkonz.:	Dauer:	Tt.:	Tf.:	rel. F.:	Ergebnis:
0	0	—	—	—	starkes Wachstum
2,61	1	21,7	15,6	53%	vermindertes Wachstum
2,61	2	21,7	15,6	53%	stark vermind. Wachst.
2,61	3	21,7	15,6	53%	vereinzeltes Wachstum
2,61	4	21,7	15,6	53%	vereinzeltes Wachstum

Ozon-Konzentration in mg pro cbm angegeben.
Dauer in Stunden angegeben.
Tt. = Trockene Temperatur.
Tf. = feuchte Temperatur.
rel. F. = relative Feuchtigkeit.

Tabelle 2.

Einwirkung von Ozon auf weiße haemolytische Staphylokokken bei erhöhter Feuchtigkeit durch Zufuhr von Wasserdampf

Ozonkonz.:	Dauer:	Tt.:	Tf..:	rel. F.:	Ergebnis:
0	0	—	—	—	starkes Wachstum
0,92	1	24,3	24,2	99%	vermindertes Wachstum
0,92	2	24,3	24,2	99%	vereinzeltes Wachstum
0,92	3	24,3	24,2	99%	kein Wachstum
0,92	4	24,3	24,2	99%	kein Wachstum

Tabelle 3.

Einwirkung von Ozon auf gelbe haemolytische Staphylokokken bei Zimmerfeuchtigkeit.

Ozonkonz.:	Dauer:	Tt.:	Tf..:	rel. F.:	Ergebnis:
0	0	—	—	—	starkes Wachstum
1,62	1	24,4	18,5	57%	vermindertes Wachstum
1,62	2	24,4	18,5	57%	stark vermind. Wachst.
1,62	3	24,4	18,5	57%	vereinzeltes Wachstum
1,62	4	24,4	18,5	57%	vereinzeltes Wachstum

Tabelle 4.

Einwirkung von Ozon auf gelbe haemolytische Staphylokokken bei erhöhter Feuchtigkeit durch Zufuhr von Wasserdampf.

Ozonkonz.:	Dauer:	Tt.:	Tf.:	rel. F.:	Ergebnis:
0	0	—	—	—	starkes Wachstum
1,25	1	25,3	22,6	79%	vermindertes Wachstum
1,25	2	25,3	22,6	79%	vereinzeltes Wachstum
1,25	3	25,3	22,6	79%	kein Wachstum
1,25	4	25,3	22,6	79%	kein Wachstum

Tabelle 5.

Einwirkung von Ozon auf Streptokokken bei Zimmerfeuchtigkeit.

Ozonkonz.:	Dauer:	Tt.:	Tf.:	rel. F.:	Ergebnis:
0	0	—	—	—	starkes Wachstum
1,50	1	23,6	18,2	59%	vermindertes Wachstum
1,50	2	23,6	18,2	59%	stark vermind. Wachst.
1,50	3	23,6	18,2	59%	vereinzeltes Wachtum
1,50	4	23,6	18,2	59%	vereinzeltes Wachtum

Tabelle 6.

Einwirkung von Ozon auf Streptokokken bei erhöhter Feuchtigkeit durch Zufuhr von Wasserdampf

Ozonkonz.:	Dauer:	Tt.:	Tf.:	rel. F.:	Ergebnis:
0	0	—	—	—	starkes Wachstum
0,71	1	24,6	23,5	91%	vereinzeltes Wachstum
0,71	2	24,6	23,5	91%	kein Wachstum
0,71	3	24,6	23,5	91%	kein Wachstum
0,71	4	24,6	23,5	91%	kein Wachstum

Tabelle 7.

Einwirkung von Ozon auf Bakterium coli bei Zimmerfeuchtigkeit.

Ozonkonz.:	Dauer:	Tt.:	Tf.:	rel. F.:	Ergebnis:
0	0	—	—	—	starkes Wachstum
1,34	1	22,8	20,2	79%	vermindertes Wachstum
1,34	2	22,8	20,2	79%	stark vermind. Wachst.
1,34	3	22,8	20,2	79%	vereinzeltes Wachstum
1,34	4	22,8	20,2	79%	vereinzeltes Wachstum

Tabelle 8.

Einwirkung von Ozon auf Bakterium coli bei erhöhter Feuchtigkeit durch Zufuhr von Wasserdampf.

Ozonkonz.:	Dauer:	Tt.:	Tf.:	rel. F.:	Ergebnis:
0	0	—	—	—	starkes Wachstum
1,25	1	24,8	23,7	91%	vermindertes Wachstum
1,25	2	24,8	23,7	91%	kein Wachstum
1,25	3	24,8	23,7	91%	kein Wachstum
1,25	4	24,8	23,7	91%	kein Wachstum

Tabelle 9.

Einwirkung von Ozon auf Bakterium pyocyaneum und Bakterium prodigiosum bei Zimmer-Feuchtigkeit.

Ozonkonz.:	Dauer:	Tt.:	Tf.:	rel. F.:	Ergebnis:
0	0	—	—	—	starkes Wachstum
1,36	1/4	23,2	16,0	47%	kein Wachstum
1,36	1/2	23,2	16,0	47%	kein Wachstum

Tabelle 10.

Einwirkung von Ozon au Bakterium pyocyaneum und Bakterium prodigiosum bei erhöhter Feuchtigkeit durch Zufuhr von Wasserdampf.

Ozonkonz.:	Dauer:	Tt.:	Tf.:	rel. F.:	Ergebnis:
0	0	—	—	—	starkes Wachstum
0,45	1/4	22,7	22,6	99%	kein Wachstum
0,45	1/2	22,7	22,6	99%	kein Wachstum

Aus den vorstehenden Tabellen ist zunächst der erhebliche Unterschied der Wirkung des Ozons in trockenen und in feuchten Räumen ersichtlich. Obwohl im trockenen Raum eine höhere Konzentration des Ozons erzielt werden konnte, ist seine wachstumshemmende Wirkung wesentlich geringer als im feuchten

Raum. So ergeben die Tabellen 1 und 2, daß weiße haemolytische Staphylokokken im trockenen Raum nach 4stündiger Ozonisierung bei einer Ozon-Konzentration von 2,61 mg pro cbm nur im Wachstum gehemmt sind, im feuchten Raum dagegen bei einer Konzentration von nur 0,92 mg pro cbm nach 3 Stunden schon völlig abgetötet waren.

Das gleiche Ergebnis zeigten gelbe haemolytische Staphylokokken (Tabelle 3 und 4).

Streptokokken waren nach 4 stündiger Ozonisierung bei Zimmer-Feuchtigkeit bei einer Konzentration von 1,50 mg Ozon pro cbm im Wachstum behindert, während sie bei erhöhter Feuchtigkeit bei einer Konzentration von 0,71 mg Ozon pro cbm nach 2 Stunden abgetötet waren (Tabelle 5 und 6).

Das gleiche Verhalten gegenüber dem Ozon ergibt sich für Bakterium coli (Tabelle 7 und 8).

Am wenigsten resistent gegenüber dem Ozon verhielten sich Bakterium prodigiosum und Bakterium pyocyaneum.

Wie die Tabellen 9 und 10 zeigen, wurden beide im trockenen wie auch im feuchten Raum bei Ozonkonzentration von 0,49 bis 1,36 mg pro cbm nach 15 Minuten Einwirkungszeit abgetötet. Vergleicht man diese Ergebnisse mit denen der vorgenannten Autoren, so ist folgendes zu sagen :

Die Versuche Heise's ergaben eine Tötung der Coli-Keime nach 1stündiger Ozonisierung zu 95% bei einer Ozon-Konzentration von 8 mg pro cbm. Bei meinen Versuchen mit Bakterium coli bei Zimmer-Feuchtigkeit und einer Konzentration von 1,34 mg Ozon pro cbm war nach ein-stündiger Einwirkungszeit das Wachstum der Keime vermindert, bei erhöhter Feuchtigkeit durch Zufuhr von Wasserdampf wesentlich stärker vermindert; nach 2 Stunden Einwirkungszeit waren die Keime abgetötet. Heise's günstigeres Ergebnis ist wohl durch die höhere Ozon-Konzentration und Feuchtigkeit zu erklären.

Kleinmann fand bei Bakterium coli schon nach 2 Minuten Ozonisierung eine Abtötung zu 98%, bei Staphylokokken und Streptokokken sogar zu 100%. Ich konnte im trockenen Raum bei Konzentrationen von 0,7 bis 2,6 mg Ozon pro cbm selbst nach 4stündiger Ozonisierungsdauer keine Abtötung erzielen. Es ist also die schnelle Abtötung der Keime nach den Erfahrungen Kleinmann's wohl auf die von ihm angewandte sehr hohe Ozon-Konzentration von 174,3 mg pro Liter zurückzuführen, und außerdem darauf, daß die auf den Platten befindlichen Keime stets einen gewissen Feuchtigkeitszustand aufweisen. Dass Letzteres

wesentlich ist, zeigt die Tatsache, daß ich in meinen Versuchen im feuchten Raum selbst bei sehr niederer Ozon-Konzentration eine Abtötung von Bakterium coli, Staphylokokken und Streptokokken nach 2—3 Stunden Einwirkungsdauer feststellen konnte.

Konrich benutzte zu seinen Versuchen Ozon-Konzentrationen, die nicht wesentlich höher lagen als die von mir angewandten, kam aber sowohl im trockenen wie im feuchten Raum zu ungünstigeren Ergebnissen. Besonders hervorzuheben ist, daß er bei Bakterium pyocyaneum und Bakterium prodigiosum im trockenen Raum keine Wachstumshemmung nach 1—5 Stunden feststellen konnte und im feuchten Raum eine Abtötung erst nach 3—4 Stunden eintrat; in meinen Versuchen waren in beiden Fällen die Keime nach 15 Minuten abgetötet.

Franklin berichtet über Versuchsergebnisse an Bakterium coli, denen meine Ergebnisse gleichkommen.

Weiterhin interessierte es im Rahmen meiner Arbeit, das Verhalten von Virus gegenüber dem Ozon kennen zu lernen. Zur Untersuchung gelangte Ektromelievirus. Nach der Passage durch die Maus wurde frisches Material von der Mäuse-Pfote im sterilen Achatmörser zerrieben, mit 3 ccm physiologischer Kochsalzlösung aufgeschwemmt und durch das Berkefeldfilter filtriert. Mit 0,5 ccm des Filtrats wurde ein Uhrengläschen beschickt und die Aufschwemmung während 24 Std. im Exsiccator getrocknet. Alsdann wurde das Gläschen im Abzug dem Ozon - Luftstrom ausgesetzt. Nach Ozonisierung wurde das getrocknete Material wieder mit 0,3 ccm physiologischer Kochsalzlösung aufgeschwemmt und 0,05 ccm auf Mäuse verimpft.

Tabelle 11.

Einwirkung von Ozon auf Ektromelievirus bei Zimmer-Feuchtigkeit.

Ozon-konz.:	Dauer: 0	Tt.: —	Tf.: —	rel. F.: —	Ergebnis;
2,50	1	21,1	15,8	58%	Versuchstiere nach
2,50	2	21,1	15,8	58%	4 Tagen tot.
2,50	3	21,1	15.8	58%	
2,50	4	21,1	15,8	58%	Versuchstier nach 5 Tagen tot.

Tabelle 12.

Einwirkung von Ozon auf Ektromelievirus bei erhöhter Feuchtigkeit durch Zufuhr von Wasserdampf.

Ozon-konz. :	Dauer :	Tt. :	Tf. :	rel. F. :	Ergebnis ;
0	0	—	—	—	Die Versuchstiere
1,88	1	23,5	19,3	68%	hatten nach 4 Ta-
1,88	2	23,5	19,3	68%	gen stark verdickte
1,88	3	23,5	19,3	68%	Hinter-Pfoten, der
1,88	4	23,5	19,3	68%	Tod trat nach 8 Tagen ein.

Die vorstehenden Tabellen 11 und 12 zeigen, daß das verwandte Virus gegen Ozon sehr widerstandsfähig ist. Bei Ozon-Konzentrationen von 1,88 bis 2,5 mg pro cbm konnte weder im feuchten noch im trockenen Raum eine Schädigung des Virus durch Ozon festgestellt werden.

Zusammenfassung.

Ozon ist als reines Desinfektionsmittel für Räume nicht geeignet, da seine bakterizide Wirkung auf pathogene Keime nicht stark genug ist. Es wirkt zwar auf einzelne Bakterienarten abtötend bzw. wachstumshemmend, es kann aber für eine vollkommene Desinfektion des ozonisierten Raumes nicht garantiert werden. Bewohnte Räume in Gegenwart der Bewohner mit Ozon zu desinfizieren, kommt nicht in Betracht, da wirksame Ozon-Konzentrationen und Luftfeuchtigkeit über der Dosis der in der Atemluft verträglichen Konzentration liegen. Außerdem besteht die Gefahr einer schädigenden Einwirkung auf Einrichtungsgegenstände infolge Durchfeuchtung und Oxydation.

Die mit dem Zimmer-Ozonisator OVH der Firma Siemens & Halkse zu erzielenden Ozon-Konzentrationen sind zu gering, um in einem größeren Raume Mikroorganismen abzutöten. Sein Anwendungsbereich ist vielleicht darin gegeben, in Räumen die Luft in einem gewissen Umfang zu verbessern, wo dies durch Lüftung allein nicht möglich ist.

Insbesondere ist eine Vernichtung von Virus in Wohnräumen durch Ozon wohl nicht zu erreichen. Dies ist hervorzuheben, weil von verschiedenen Seiten darauf aufmerksam gemacht, bezw. daran gedacht wurde, bei epidemisch auftretenden Viruskrankheiten, etwa bei der Kinderlähmung, Wohnräume durch Ozonisierung zu desinfizieren.

Schrifttum.

Cramer, W.: Die Verwendung von Ozon zur Luftreinigung. Ges. Ing., Bd. 32, H. 29, Juli 1909.

Czaplewski: Verwendung des Ozons bei der Lüftung. IX. Kongress f. Heizg. u. Lüftung in Köln. Juni 1913.

Erlandsen: Zeitschr. f. Hyg., 1910, Bd. 68, S. 391.

Franklin, W.: Über den Wert des Ozons in der Lüftung. Ges. Ing., 37, H. 9, 1914.

Galli-Valerio: Zur Verwendung des Ozons für Luftdesinfektion. Centralbl. f. Bakt. usw., Abt. I, Bd. 75, 1914.

Heiling und Scupin: Zeitschr. f. d. ges. Kält. Ind., 1935, Bd. 42.

Heise, R.: Über die Einwirkung von Ozon auf Mikroorganismen und künstliche Nährsubstrate, als Beitrag zur Kenntnis der Ozonwirkung in Fleischkühlhallen. Arb. Kaiserl. Ges. Amt, Bd. 50, 1915.

— „ —: Die Einwirkung von Ozon auf künstliche Nährböden und auf verschiedene Bakterien, Hefen und Schimmelpilze. Arb. Kaiserl. Ges. Amt, Bd. 50, 1917.

Hill u. Flack: Die physiologische Wirkung des Ozons. Proc. Royal London, Serie B, Bd. 84, 1911.

Kaehs, G.: Ozonbehandlung zur Frischerhaltung leicht verderblicher Lebensmittel. Chemiker-Ztg., 62. Jahrg., Nr. 41.

Kisskalt, Karl: Versuche über Desodorisierung. Ztschr. f. Hyg. u. Infektionskrankheiten, 71, Berlin.

Kleinmann: Körperhöhlen-Behandlung mit pharmakologisch wirksamen Gasen. Ztschr. f. exp. Pathologie u. Therapie 1921, Bd. 22.

Konrich: Zur Verwendung des Ozons in der Lüftung. Ztschr. f. Hyg. u. Infektionskrankh., Bd. 73.

Ladenburg: Ref. in der Arbeit von E Schmitz. Chem. Ztg., Jahrg. 37, Nr. 38.

Moog: Privatmitteilung. Ref. in Chem. Ztg., Jahrg. 37, Nr. 38, 1913.

Ohlmüller: Über die Einwirkung des Ozons auf Bakterien. Arb. Kaiserl. Ges. Amt, Bd. 8, 1891.
Olsen: Luft- und Wasser-Reinigung durch Ozon. Ges. Ing. 37, H. 13, 1914.
Ostertag: Ztschr. f. Fleisch- und Milchhygiene, 1933, Bd. 44. 1934, Bd. 45.
Schönfeld u. Hoffmann: Ozon als Desinfektionsmittel in der Brauerei. Wo.schr. f. Brauerei, 30.
Schwarz: Ges. Ing. 1910, Bd. 33.
Selter, H.: Grundriss der Hygiene, Bd. 1 u. 2.
Sonntag: Ztschr. f. Hygiene, 1890, Bd. 8, S. 95.
Thiele, Arthur: Untersuchungen über die Brauchbarkeit des „Viozon" zur Ozonisierung im Kühlraum. Deutsche Schlachthof-Zeitung, 32, 1932.
Ullmann, Fritz: Ozon. Encykl. d. techn. Chem., Berlin, 1920.
Wolff, A.: Eine med. Verwendbarkeit des Ozons. Deutsche med. Wo.schr., 41, 311—312.

Am Schlusse dieser Arbeit ist es mir eine angenehme Pflicht, Herrn Prof. Dr. K ü s t e r für die Überlassung des Themas und die jederzeit freundliche Unterstützung bei Anfertigung der Arbeit meinen aufrichtigen Dank auszusprechen.

Lebenslauf.

Am 7. 5. 1913 wurde ich als Tochter des Rechtsanwalts und Notars Dr. Bruno Wendt und deßen Ehefrau Tilly geb. Sicker in Darmstadt geboren. Ich besuchte die realgymnasiale Studienanstalt Schillerschule zu Frankfurt a. M.. Im Februar 1932 bestand ich die Reifeprüfung. Im Sommersemester 1932 und Wintersemester 1932/33 studierte ich an der Johann Wolfgang-Goethe-Universität in Frankfurt a. M. Medizin. Aus gesundheitlichen Gründen mußte ich Frühjahr 1933 das Studium unterbrechen. Im Wintersemester 1934/35 und Sommersemester 1935 belegte ich in Frankfurt a. M. Zahnheilkunde und machte im Sommer 1935 das Physikum. Die anschließenden drei klinischen Semester belegte ich an der Albertus-Universität in Königsberg (Pr.). Am22. 12. 36 verheiratete ich mich mit dem Zahnarzt Dr. Johannes Rutkowsky, planmäßigem Assistenten am Zahnärztlichen Universitäts-Institut, Königsberg (Pr.), jetzt Berlin. Im Sommer Semester 1937 mußte ich wegen Krankheit das Studium vorläufig aufgeben. Das vierte klinische Semester belegte ich im Winter 1938/39 in Tübingen; dort legte ich im Frühjahr 1939 das Staatsexamen ab. Im Mai 1939 erhielt ich die Approbation als Zahnärztin. Vom 1 6. bis 1. 9. 39 war ich vormittags als Volontärin an der Chirurgischen Abteilung des Zahnärztlichen Universitäts-Instituts, Berlin, tätig, nachmittags hatte ich die Vertretung einer Kollegin übernommen. Als mein Mann im Sepember 1939 zum Heeresdienst einberufen wurde, zog ich zu meinen Eltern nach Frankfurt a. M. und übe seitdem die Vertretung eines eingezogenen Kollegen in Oberursel i. T. aus.

Luise-Charlotte Rutkowsky geb. Wendt.